

基于遥感和GIS的中国土地资源生态环境质量 同人口分布的关系研究

高志强 刘纪远 庄大方

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘要 基于用数字环境模型对中国土地资源生态环境质量评价的基础上,生成了中国土地资源生态环境综合评价图和人口密度分布图。首先分析了中国土地资源生态环境等级面积构成及分布状况,中国土地资源生态环境质量最好的地区全部分布在东南沿海和四川盆地地区,之后,用相关分析方法及关系曲线分析了中国土地资源生态环境质量同人口分布的关系,得出了土地资源生态环境质量指数同人口存在着实质性的相关关系,中国东南沿海和四川盆地地区是中国土地资源生态环境最好的地区,也是人口密度和土地资源利用程度最高的地区,而西北及青藏高原区是中国土地资源生态环境比较差的地区,也是人口密度比较低的地区。

关键词 数字环境模型,土地资源,生态环境质量,人口密度

为了深入地研究土地利用和其生态环境之间的相互关系,更好地利用和保护中国有限的土地资源,作者利用数字环境模型方法,利用多指标大数据量,全方位地展开对中国土地资源生态环境质量的评价,为中国土地资源的保护和利用提供科学的依据和策略。中国土地资源生态环境质量同人口分布的关系研究就是基于用数字环境模型对中国土地资源生态环境质量评价的基础上作出的^[1]。

1 用数字环境模型对中国土地资源生态环境质量评价

数字环境模型是基于“数字地面模型”(Digital Terrain Models)的基础上发展起来的,我们把着重反映生态环境特征的数字地面模型叫数字环境模型(Digital Environment model)^[2,3]。数字环境模型可以采用矢量数据结构,也可以采用栅格数据结构。数字环境模型主要应用于环境的评价分析,采用栅格结构更易于其应用。虽存贮时数据量大,但栅格数据的叠加容易,逻辑代数运算简单,恰恰满足了环境分析和评价的需要。在本文的土地资源生态环境评价模型中全部采用栅格数据结构,所有的环境因子,经过统一的投影变换,以统一的尺寸转换成栅格数据结构,以栅格结构为基础实现各种代数和逻辑运算。

1.1 指标的选择

影响土地资源及土地利用的因子是多方面的,有自然和社会两方面。指标群的选取是为了全面反映研究目标,而指标体系的建立则是为了科学性,系统性实现土地资源生态环境质量评价的目标。

人类活动及自然界的许多变化,同土地资源的作用最直接最集中的体现在水、热两个方面,土地资源是以地形、地貌为其存在的骨架,上覆有土壤、植被、岩石和水体;人类利用土地资源(土地利用)的结果(如建筑物、道路及耕地等)构成土地资源的实体。

故在评价指标群的选择中,为了达到土地资源生态环境质量评价的目的,选择了水热、地形地貌、土壤植被和土地利用/土地覆被4组指标。

水热:选择了年 $>0^{\circ}\text{C}$ 积温、年平均温度、年降水量、湿润度4个指标。

地形地貌:选择了平均海拔、坡度、坡向、地貌类型4个指标。

土壤植被:选择了土壤类型、植被类型两个指标。

土地利用/土地覆盖:选择了土地利用程度指数、土地垦殖率、植被指数(NDVI)³个指标。

1.2 数字环境模型的构造方法

用数字环境模型法对中国土地资源生态环境进

行全方位的评价,涉及水热、地形地貌、土壤植被、土地利用/土地覆盖4个方面13个指标,因影响环境变化的因子是多方面的,因子获取方式也不一样,有矢量数据格式、栅格数据格式以及点数据格式之分。数据的来源及投影方式也各不相同。水热的4个指标是点位数据,是用《中国地面气候资料1951—1980》的671个站点资料,将全国671个台站经纬度坐标按投影变换公式换算成等面积割圆锥投影体系。投影系数为:中央经线为 110° 。双割圆锥线为北纬 25° 和 47° ,起算点为赤道 0° 。4个水热指标同671个空间点位相联系,用ARC/INFO的build命令中的point参数建立拓扑关系,之后用arctin及tinlattice命令,最终将点位数据经插值转化为栅格数据,网格单元为 $2\text{km}\times 2\text{km}$,全国1:400万等面积割圆锥投影的水热指标点图被转换为 2075×2517 的栅格阵列数据;地形地貌中的4个指标和土壤植被中的2个指标是用《中国自然环境数据库》中的中国土壤、中国植被、中国地形和中国地貌的1:400万等面积割圆锥投影的矢量数据,用ARC/INFO中的arctin带line参数和tinlattice及polygrid转化为 2075×2517 的栅格数据;土地利用/土地覆盖中的3个指标:土地利用程度和垦殖率是用《中国环境资源数据库》中的土地资源数据,计算出全国每一个县的土地利用程度和垦殖率,之后将以上两个指标联结到1:400万等面积割圆锥投影的中国分县的行政界线矢量数据上,用ARC/INFO中的polygrid转为 2075×2517 阵列的栅格数据;土地利用/土地覆盖中的植被指数NDVI数据用的LCWG/AARS(The information of the Land Cover Working Group (LCWG) of the Asian Association on Remote Sensing (AARS)),提供的CD-ROM 94年全球 8km 分辨率的AVHRR数据,此数据本是栅格数据,只需将中国数据切出再进行等面积圆锥投影变换,再将此 $8\text{km}\times 8\text{km}$ 的NDVI的数据进行重采样变为 $2\text{km}\times 2\text{km}$ 的全国 2075×2517 的阵列规格即可。以上13个指标经过以上变化就全部转换为具有1:400同一比列尺,同一的割圆锥投影和同一分辨率($2\text{km}\times 2\text{km}$),同一行列数(2075×2517)的栅格阵列形式,每一个栅格即是一个分析单元,代表实地 $2\text{km}\times 2\text{km}$ 。整个中国版图被分成 2075×2517 个分析单元。由于采用统一的地理坐标,统一的转换方法,不同专题层面的栅格数据相对实地位置具有良好的空间重合性。每个基本分析单元具有土地资源生态环境评价用的13个指标属性,基于栅格单元基础上,

可以进行逻辑代数运算,可以满足评价和查询的需要。以上13个指标群数字环境模型的生成成为进行中国土地资源生态环境的评价奠定了基础。

1.3 评价指标的量化分级

13个评价指标确定以后,直接用它们去进行评价是困难的,因为各系数间的量纲不统一,没有可比性,故必须对参评的指标因子进行量化处理。量化的方法较多,比较简单的方法是将它们量化分级,根据它们对土地资源利用中正向影响的大小,从高到底分若干级,以反映环境状况从优到劣的变化。

1.4 评价因子权重系数的确定

在土地资源生态环境评价中,因子系数权重的确定是整个评价过程中不可缺少的一步,它关系到评价结果是否与实际相符的关键一环。

传统的确定仅重的方法有两大类,群体方法和个体方法。近年来因数学方法的发展,人们将层次分析法(The Analytic Hierarchy process 简称AHP)引入了权因子的确定中,避免了以上两种方法的不足。此法理论严谨,便于操作,它是在定性方法基础上发展起来的确定因素权重的一种科学方法。是美国运筹学家A.L.Saaty于本世纪70年代提出的,是一种定性定量相结合的决策方法,它是一种将决策者对复杂系统的决策思维过程模型化、数量化的过程^[5]。

AHP确定因子权重的具体步骤如下:

确定目标和评价因子集 U ;

构造判断矩阵;

计算重要性排序;

检验。

根据以上AHP的原理及步骤,整个土地利用环境影响评价因子权重系数如表1。

1.5 用数字生态环境模型对土地资源生态环境质量进行评价

生态环境是一个复杂的系统整体,各子系统相互影响,相互作用,本数字环境模型的建立是基于土地资源利用基础上建立的,将整个生态环境分为4个子系统。它们是水热子系统、地形地貌子系统、土壤植被子系统、土地利用/土地覆盖子系统。它们的相互关系为:水热子系统为土地利用/土地覆盖生态系统提供了水分和能源,地形地貌子系统为整个生态系统的演化和相互作用提供了空间和骨架,土

壤植被子系统是本生态系统作用的实体,土地利用/土地覆盖子系统是土壤植被子系统在自然因子和人为因子作用的结果体现,是本生态环境系统相互作用的结果和核心。根据以上各子系统的相互关系,

利用各指标的等级量值和权重系数,用如下模型:

$$idx = \sum_{i=1}^n W_i * C_i \quad (1)$$

idx 为指数值, W 为指标量值, C 为对应指标

表 1 土地资源生态环境评价的指标体系及权系数

Table 1 The evaluated indexes system and weight coefficients of the ecological environmental quality of Chinese land resources

一级指标	一级系数	二级指标	二级系数	三级指标	三级系数
水热	0.333	热量	0.5	>0℃ 积温	0.66
				年平均温度	0.34
		水分	0.5	湿润度	0.75
				年降水量	0.25
地形地貌	0.167	海拔高度	0.35		
		坡度	0.19		
		坡向	0.11		
		地貌类型	0.35		
土壤植被	0.167	土壤类型	0.66		
		植被类型	0.34		
土地利用和土地覆盖	0.333	植被指数	0.16		
		垦殖率	0.30		
		利用程度指数	0.54		

的权重, i 为某子系统的指标数。利用以上模型分别计算水热子系统指数值 A , 地形地貌子系统指数值 B , 土壤植被子系统指数值 C , 土地利用/土地覆盖子系统指数值 D , 之后以 4 个子系统指数值为基础, 加上 4 个子系统的权重, 最后生成土地资源生态环境系统综合环境指数 $enindex$, 即 $enindex = Aa + Bb + Cc + Dd$, A, B, C, D 为指数量值, a, b, c, d 为权系数。最后生成的中国土地资源生态环境系统评价综合指数图(图版 I 图 1)。

2 中国土地资源生态环境质量同人口分布的关系

中国土地资源生态环境是在中国特有的地形地貌和季风气候的作用下, 形成了中国纬度地带性和非纬度地带性相互控制下土壤、植被分布规律, 又加上人类为了生存同大自然抗争, 产生了社会作用力, 在以上大自然作用的生态环境里, 又参与了人类社会作用的因素, 最终自然力和社会力相互作用形成今天中国土地资源生态环境背景状况^[4]。中国土地资源生态环境质量分布规律是由以上中国地理环

境决定和控制的, 由封四图版 I 图 1 可见, 中国总的土地资源面积为 9533195km², 其 7, 8, 9, 10 级相加才占了整个土地资源面积的 26.86%, 此生态环境区是中国人口分布最集中的地区, 是最易于人类生存的地区。而 5, 6 级占了整个土地资源面积的 30.66%。2, 3, 4 级占了土地资源面积的 42.41%, 此部分是人类难以生存的地区, 竟占了中国土地资源面积的一半多。由此可见, 中国国土面积虽大, 但适合我们生存和发展的土地资源面积却是有限的。

中国生态环境 5 级以下(包括 5 级)的土地资源面积, 几乎全部分布在西北各省。生态环境为 2 级的土地资源面积共 78593.35km², 其中新疆占了 62.64%, 西藏占了 26.58%, 两个自治区就占了 89.22%; 生态环境质量为 3 级的土地资源面积为 1585816.74km², 其中西藏占了 42.33%, 新疆占了 30.11%, 青海占了 20.15%, 3 个省份就占了 92.59%; 生态环境为 4 级的土地资源面积为 2379730.13km², 其中, 新疆占了 34.16%, 内蒙古占了 18.24%, 西藏占了 18.20%, 青海占了 15.39%, 4 个省份就占了 85.99%; 生态环境为 5 级的土地资源面积共 1464795.04km², 内蒙古占了 35.69%, 新

疆占了 18.86%，两个省份共占了 54.55%。

生态环境 5 级以上的土地资源面积主要分布在东部沿海各省。生态环境质量为 10 级的面积较少，仅为 3879.42km²，生态环境为 9 级的国土面积为 414755.78km²，主要分布在东部沿海及四川盆地平原的省，其中河南占了 16.56%，江苏占了 16.89%，安徽占了 13.88%，山东占了 11.57%，河北占了 8.99%，5 个省共占了 67.89%；生态环境为 6, 7, 8 级土地资源面积东部各省分布较均衡。

根据以上生态环境质量等级在各省的分布状况，又算出每个省的平均生态环境平均指数，按生态环境质量的高低将全国 31 个省市排序如表 2。

表 2 各省市按环境指数大小的名次排序

Table 2 The province sequence according to the index of ecological environmental quality of Chinese land resources

名次	名称	环境指数	名次	名称	环境指数
1	上海	31	10	河北	13
2	江苏	32	9.5	北京	11
3	安徽	34	8.5	辽宁	21
3	山东	37	8.5	贵州	52
4	河南	41	8.3	陕西	61
5	海南	46	8.2	山西	14
5	台湾	71	8.2	云南	53
6	天津	12	8	吉林	22
6	广东	44	8	四川	51
7	浙江	33	7.3	黑龙江	23
8	广西	45	7.2	宁夏	64
9	江西	36	7.1	甘肃	62
10	福建	35	6.8	内蒙	15
10	湖北	42	6.8	新疆	65
10	湖南	43	6.8	青海	63
11	河北	13	6.2	西藏	54
					0

由表 2 可以看出中国生态环境质量好的省是上海、江苏、山东、安徽、河南，全部位于东部沿海，为黄淮海平原和长江三角洲地区；生态环境质量最差的是西藏、青海、新疆。

生态环境质量各等级土地资源面积在各省内的基本分布规律为，东部沿海各省其等级面积构成以 5 级以上为主，西部各省份的等级面积构成以 5 级（包括 5 级）以下为主。

由中国土地资源生态环境综合评价（封四图版 I 图 1）和中国人口密度分布相互对比可以看出，中

国生态环境质量最好的地区，也是人口密度最大地区。我们认为生态环境质量的好坏同人口数，人口密度有明显的相关关系，故以各省为计算样本单位，用下面的相关关系计算公式^[5]：

$$r = \frac{(1/n) * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\partial_x * \partial_y} \quad (2)$$

$$\partial_x = \sqrt{\sum x_i^2/n - \bar{x}^2}; \partial_y = \sqrt{\sum y_i^2/n - \bar{y}^2}$$

其中： ∂_x 和 ∂_y 分别是 x 和 y 的标准差。

分别计算生态环境质量指数同人口数、人口密度的相关系数。根据统计学原理可知，当相关系数 $r \geq 0.7$ 时，则认为两者之间有实质性联系。用以上的相关系数计算公式计算的生态环境质量指数 (enindex) 同人口数 (pop) 的相关系数为 $r_{ep} = 0.772154$ ， $F_{ep}(1, 30) = 42.82$ ；enindex 同人口密度 (pden) 的相关系数为 $r_{ed} = 0.7643$ ， $F_{ed}(1, 30) = 40.7744$ 。

以上的两个相关系数 r_{ep} ， r_{ed} 均大于 0.7，从统计学的角度认为两者之间有实质性的联系，对相关系数进行显著性检验，通过查 F 表可知，当显著水平 $\alpha = 0.01$ 时， $F_{\alpha}(1, 30) = 7.50$ 。以上的两个检验值分别为 $F_{ep}(1, 30) = 42.82$ ， $F_{ed}(1, 30) = 40.744$ 均大于 $F_{\alpha}(1, 30) = 7.50$ ，故以上两个相关系数均通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平检验。所以可以有如下结论：生态环境质量同人口数、人口密度有实质性相关关系。将以上 3 个指标的数值用公式：

$$Z(\text{标准值}) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (3)$$

标准化后，作成曲线图（图 2）。由曲线图 2 可以看出，pop，pden 的变化同 enindex 变化基本是同步的。由此验证了 pop，pden 同 enindex 有实质性相关关系。

以上相关关系存在的原因：因为土地资源生

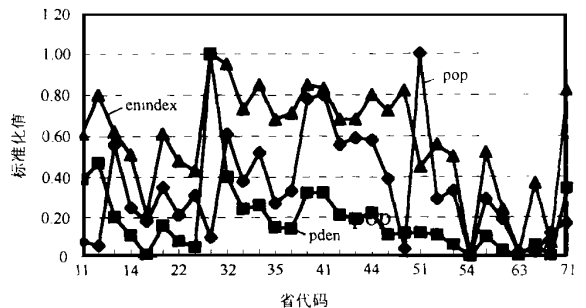


图 2 环境质量指数、人口数和人口密度曲线图
Fig. 2 The curves of index of ecological environmental quality, population and population density

态环境好的地区,是易于人类生存和发展的地区,导致了该区聚集了更多的人口。这便是以上相互关系存在的本质原因。

3 结 论

(1) 土地资源生态环境质量指数同人口数、人口密度存在着实质性的相关关系。

(2) 中国生态环境质量最好的 9 级和 10 级土地资源全部分布在东南沿海及四川盆地暖温带及亚热带平原区,这是中国生态环境最好的地区,也是人口密度、土地资源利用程度最高的地区。

(3) 中国国土面积虽大,但适合人类生存的 7, 8, 9, 10 级的土地资源面积仅占了土地资源面积的 26.86%,即 1/4 多一点;1/4 的土地资源面积养活了中国 80%以上的人口。

参 考 文 献 (References)

- 1 Liu Jiyuan. Macro-Scale Survey and Dynamic Study of Natural Resources and Environment of Chinese by Remote Sensing. Beijing: Chinese Science & Technology Press, 1996, 262-275. (In Chinese) [刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1996, 262-275]

- 2 Wang Huadong. The evaluation of environmental effect. Beijing: Higher educational press, 1989, 120-180. (In Chinese) [王华东. 环境影响评价. 北京: 高等教育出版社, 1989, 120-180.]
- 3 Wang Huadong. The evaluation of environmental quality. Tianjin: Tianjin Science & Technology Press. 1991, 23-89. (In Chinese) [王华东. 环境质量评价. 天津: 天津科学技术出版社, 1991, 23-89.]
- 4 Zhongshan University. *et al.* Natural geography. Beijing: Chinese educational press, 1979, 233-245. (In Chinese) [中山大学等. 自然地理学. 北京: 人民教育出版社. 1979, 233-245.]
- 5 Xu Jianhua. The mathematical methods in model geography. Beijing: Higher educational press, 1994, 10-120. (In Chinese) [徐建华. 现代地理学中的数学方法. 北京: 高等教育出版社, 1994, 10-120.]

作 者 简 介

高志强,男,1966年3月生。中国科学院遥感应用研究所所在读博士,1989年毕业于山东师范大学地理系,1993年毕业于中国科学院新疆地理研究所,获地图学与遥感硕士学位。从事过多项遥感和GIS的应用和研究工作,为《中国资源环境遥感宏观调查与动态研究》专著的编委和执行编委,现正从事着国家科委“九五”国家重中之重“3S”课题的研究任务。

The Relations Analysis Between Ecological Environmental Quality of Chinese Land Resources and Population

GAO Zhi-Qang LIU Ji-Yan ZHUANG Da-Fang

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences Beijing 100101)

Abstract Based on the evaluated ecological environmental quality of Chinese land resources with Digital Environmental Model (DEM), the comprehensive evaluated map of the ecological environmental quality of Chinese land resources and the map of population density were worked out. At first, the degree areas constitution and distribution condition of the ecological environmental quality of Chinese land resources were analyzed, the best land resources area of the ecological environmental quality is distributed in south-east China; Then the relations between the ecological environmental quality of Chinese land resources and Chinese population distribution were analyzed with relative method and curves. The conclusions are that the substantive relations exist between the ecological environmental quality of Chinese land resources and population; the south-east China is the best area of the ecological environmental quality of Chinese land resources, this area has largest population density and highest used degree of land resources; the west-north China is a poor area of the ecological environmental quality of Chinese land resources, this area has smaller population density and lower used degree of land resources.

Key words Digital Environmental Model (DEM), Land resources, Ecological environmental quality, Density of population